

El análisis geoestadístico se puede dividir en cuatro etapas:

Análisis exploratorio.

Se hace con el propósito de entender las propiedades espaciales del fenómeno bajo estudio.

Se hacen:

- histogramas por zonas
- mapas de colores
- diagramas de correlación, etc.

Análisis de la estructura espacial.

En esta etapa se analiza la relación geográfica entre los valores de $Z(s)$

La finalidad es proponer un modelo de asociación espacial que describa adecuadamente lo observado.

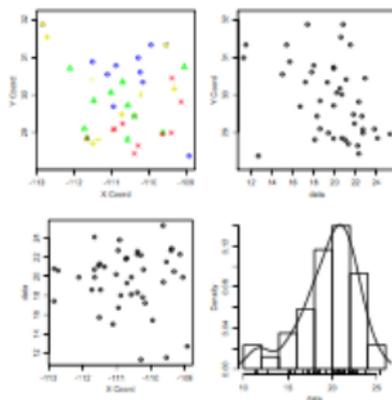
En esta fase se pueden detectar propiedades como anisotropías.

Predicción Espacial El propósito es hacer predicción de los valores de $Z(s)$ en puntos y regiones de interés.

En muchas ocasiones este es el fin último del análisis geoestadístico.

Comprende también el análisis de la incertidumbre en las predicciones.

Ejemplo: Datos climáticos del Noroeste de México
Histograma, gráfica de temperatura vs coordenadas y temperatura vs elevación.



Tanto la covarianza como el variograma son desconocidos, por lo que deben estimarse

El análisis estructural es el primer paso en el proceso de inferencia sobre $Z(s)$.

Es a partir de él que se establece la forma de la dependencia espacial del fenómeno estudiado.

Se comienza con el cálculo del variograma empírico

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N_h} \sum_{N_h} \gamma[Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h})]$$

Se ajusta algún modelo de la forma $g(\mathbf{h}) = C_0 + C_1 f(\mathbf{h})$

C_0 es la pepita, $C_0 + C_1$ es la meseta y $f(\cdot)$ es una función monótona creciente en h

Se comienza con el cálculo del variograma empírico

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N_h} \sum_{N_h} \gamma[Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h})]$$

Se ajusta algún modelo de la forma $g(\mathbf{h}) = C_0 + C_1 f(\mathbf{h})$

C_0 es la pepita, $C_0 + C_1$ es la meseta y $f(\cdot)$ es una función monótona creciente en h

Se comienza con el cálculo del variograma empírico

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N_h} \sum_{N_h} \gamma[Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h})]$$

Se ajusta algún modelo de la forma $g(\mathbf{h}) = C_0 + C_1 f(\mathbf{h})$

C_0 es la pepita, $C_0 + C_1$ es la meseta y $f(\cdot)$ es una función monótona creciente en h

Se comienza con el cálculo del variograma empírico

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N_h} \sum_{N_h} \gamma[Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h})]$$

Se ajusta algún modelo de la forma $g(\mathbf{h}) = C_0 + C_1 f(\mathbf{h})$

C_0 es la pepita, $C_0 + C_1$ es la meseta y $f(\cdot)$ es una función monótona creciente en h

Se comienza con el cálculo del variograma empírico

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N_h} \sum_{N_h} \gamma[Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h})]$$

Se ajusta algún modelo de la forma $g(\mathbf{h}) = C_0 + C_1 f(\mathbf{h})$

C_0 es la pepita, $C_0 + C_1$ es la meseta y $f(\cdot)$ es una función monótona creciente en h

Lo mas sencillo es utilizar los estimadores de momentos

$$\hat{C}(h) = \frac{1}{N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [\{Z(\mathbf{s}_i) - \bar{Z}\}\{Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h}) - \bar{Z}\}]$$

o

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} \{Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h})\}^2$$

Ambos estimadores se calculan en subintervalos de amplitud δ

Si los valores de \mathbf{h} que se van a usar son $\{0,5, 1,5, 2,5, 3,5, \dots, h_{max}\}$, entonces para cada punto

se usan aquellos puntos muestrales que queden en los intervalos $[0,5 - \delta, 0,5 + \delta), [1,5 - \delta, 1,5 + \delta), [2,5 - \delta, 1,5 + \delta),$ etc.

El variograma se utiliza más en la práctica debido a que para estimar $C(\mathbf{h})$ se requiere también estimar la media de Z .

Los estimadores de momentos son muy sensibles a valores extremos.

Su presencia en los incrementos $Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h})$ hace que la estimación de $\gamma(\mathbf{h})$ se vuelva poco confiable para algunos rezagos. Una solución es utilizar estimadores robustos.

Cressie y Hawkins (1980) propusieron el estimador robusto

$$G(\mathbf{h}) = \frac{1}{K_h} \left[\left(\frac{1}{N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} |Z(\mathbf{s}_i) - Z(\mathbf{s}_i + \mathbf{h})|^{\frac{1}{2}} \right)^4 \right]$$

con

$$K_h = \left(0,457 + \frac{0,494}{N_h} + \frac{0,494}{N(\mathbf{h}^2)} \right)$$

Sin importar que estimador se use, éste debe ser calculado con datos de una población homogénea.

Es importante entonces tratar casos separadamente cuando:

Dominios que exhiben distinta variabilidad o que están separados por discontinuidades (por ejemplo, muestras de mineral deben venir de una misma formación geológica)



- Los datos están medidos en diferentes soportes (unos en litros y otros en metros cúbicos)
- Las mediciones no son de la misma calidad
- Existen datos para los que la localización de s se conoce con exactitud y para los que dicha localización es incierta.

El variograma empírico nos puede ayudar a detectar:

- Estructuras anidadas
- Efecto agujero (cuando valores altos están siempre rodeados de valores bajos o viceversa)
- Periodicidades, caso especial del efecto agujero.
- Tendencia o deriva (la media depende de la localidad).

Se presenta cuando dos o más de los variogramas direccionales $\gamma_\theta(\mathbf{h})$ son diferentes entre sí.

Existen dos tipos: **Anisotropía zonal** y **anisotropía geométrica**.

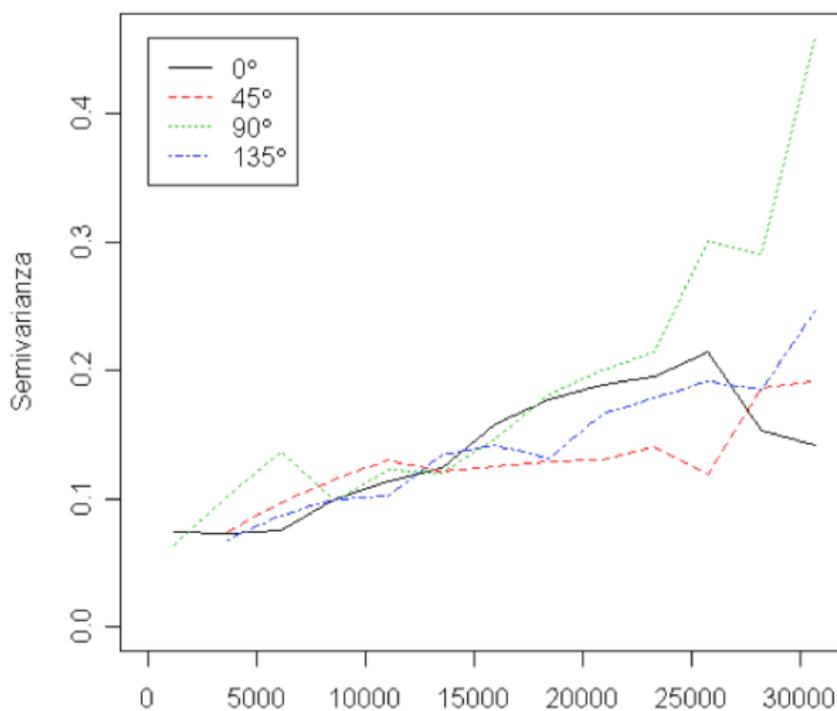
La geométrica se presenta cuando algún factor hace que para una \mathbf{h} dada, $\gamma_\theta(\mathbf{h})$ varíe suavemente al variar la dirección θ , con

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h_1}{h_2} \right)$$

y \mathbf{h} un vector con componentes

$$\mathbf{h} = [h_1, h_2]$$

Isotropía: Igual Correlación en todas las direcciones

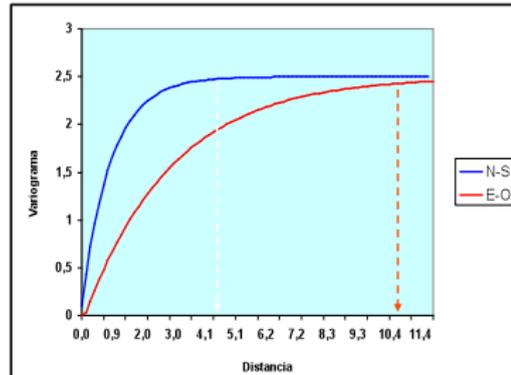


Anisotropía Geométrica :

Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta la misma *meseta* pero rangos distintos

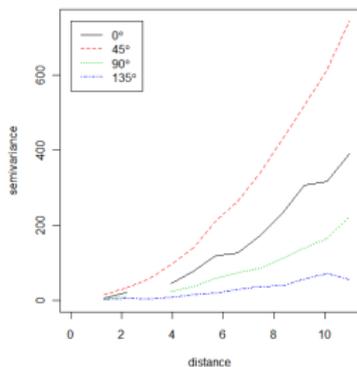
Mayor continuidad espacial en la dirección de mayor rango

Menor continuidad espacial en la dirección de menor rango

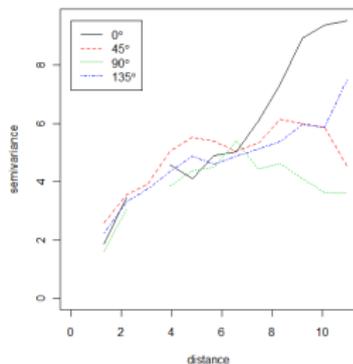


La detección de anisotropía se dificulta cuando no hay estacionariedad

Anisotropía: hay más correlación en una dirección que en otra.



Anisotropía y tendencia.
Mayor Correlación en dir 90 grados
(línea verde). Difícil detección!!

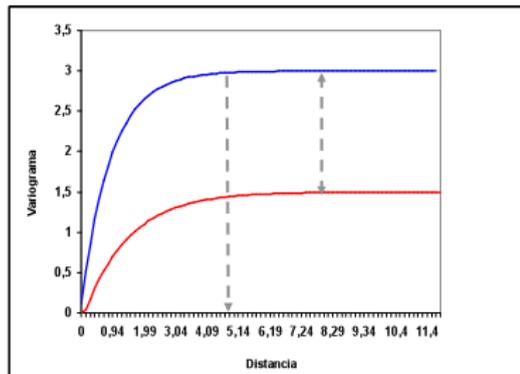


Anisotropía. Mayor correlación en
dirección 0 grados. Es más fácil
detectarla bajo estacionariedad.

Anisotropía Zonal :

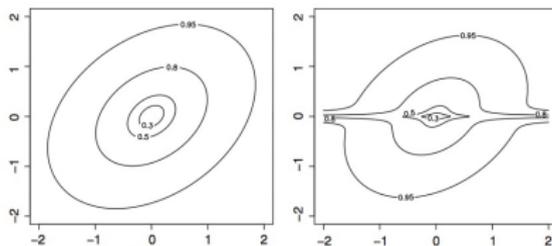
Es aquella en la que el variograma en distintas direcciones presenta el mismo rango pero diferente sill

Presencia de diferentes estructuras



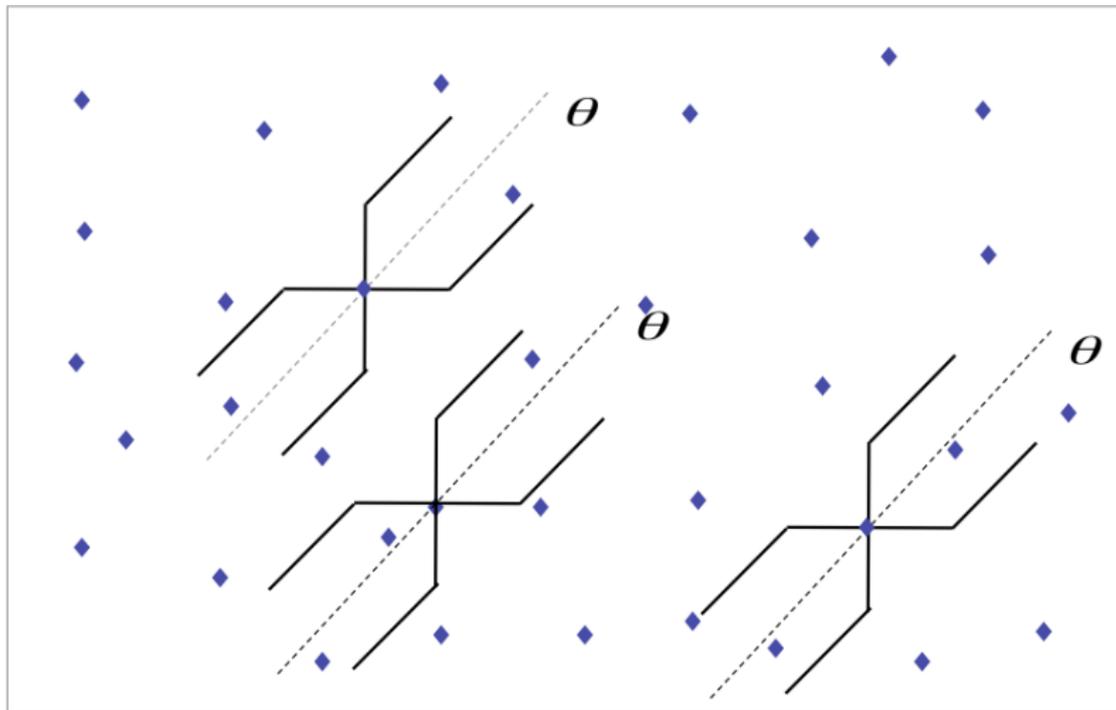
La anisotropía zonal se presenta cuando hay un cambio drástico en la estructura espacial de Z , como por ejemplo, estratos de suelo. En

la figura se muestra como se verían las curvas de nivel de Z con anisotropía geométrica (izquierda) y zonal (derecha).



Para diagnosticar la anisotropía:

- se estima el variograma en al menos 4 direcciones.
- para cada dirección se estima el rango r
- Se construye una rosa con los ángulos y la magnitud de cada r
- Si la anisotropía es geométrica, la rosa se aproxima a una elipse y se determinan sus radios mayor y menor.



Mapa de Variograma: isovalores del variograma experimental en función de la separación (distancia y orientación). Caso de anisotropía geométrica (en cualquier dirección el valor máximo es 1 = sill)

